



TITLE:

Assessment of Chloride Induced Corrosion
and Impressed Current Cathodic Protection
Conditions in Repaired Reinforced Concrete(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Rohaya, Abdul Malek

CITATION:

Rohaya, Abdul Malek. Assessment of Chloride Induced Corrosion and Impressed Current Cathodic Protection Conditions in Repaired Reinforced Concrete. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21062>

RIGHT:

許諾条件により本文は2019-03-26に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	ROHAYA ABDUL MALEK（ロハヤ アブダル マレク）
論文題目	Assessment of Chloride Induced Corrosion and Impressed Current Cathodic Protection Conditions in Repaired Reinforced Concrete（外部電源方式電気防食を施した鉄筋コンクリート断面補修部の浸透塩分による鉄筋腐食評価）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、断面補修部を有する鉄筋コンクリートの鉄筋腐食性状，および，それに外部電源方式の電気防食工法を適用した場合の鉄筋腐食抑制効果を，コンクリートの微細構造，コンクリートおよび鉄筋の腐食生成物の化学分析，塩分の再拡散性状，鉄筋の電気化学的特性（自然電位，分極抵抗，分極試験）から評価することで，断面修復工法および電気防食工法の適用性を論じた結果をまとめたものであって，7章からなっている．</p> <p>第1章は序論であり，鉄筋コンクリートの各種の劣化機構，特に鉄筋コンクリート中の鉄筋が海洋・海岸環境あるいは山間部や寒冷地帯における凍結防止剤の散布により与えられる塩化物イオンにより腐食する「塩害」と呼ばれる劣化機構について取りまとめるとともに，その予防保全および事後保全の対策の概要を述べることで，研究の背景を明らかにしている．</p> <p>第2章は前章の問題提起に基づき従来の研究をまとめたものであり，塩化物イオンに起因する鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食やコンクリートのひび割れ，コンクリート部材・構造物の耐力低下を伴う劣化過程と，各過程での劣化現象，その対策としての断面補修工法，電気防食工法について既往の研究を調査し，それらの現状と課題を述べている．</p> <p>第3章および第4章は断面補修を行った鉄筋コンクリート中の鉄筋腐食性状を評価した結果をまとめたものである．</p> <p>まず第3章では，普通コンクリートおよびポリマーモルタルを用いて断面修復を行った鉄筋コンクリート供試体内の塩化物イオンの再拡散特性および微細構造の変化を明らかにするとともに，鉄筋の腐食特性の変化を自然電位，分極抵抗といった電気化学的特性を用いて評価し，両者の関係を明らかにしている．すなわち，既存部に存在していた塩化物イオンが断面修復部に再拡散したこと，ポリマーモルタルを用いるとその拡散は抑制され断面修復部での鉄筋腐食が抑制されたこと，および，それらの現象と鉄筋の腐食特性を関連付けた．</p> <p>また，普通コンクリートおよびポリマーモルタルを用いた断面補修後のコンクリートの化学成分（EDSによる元素分析）が鉄筋の電気化学的特性や鉄筋腐食生成物に影響を与えていることを明らかにした．すなわち，塩化物イオン固定化の観点も踏まえながら，アルミナ量およびカルシウム／シリカ比が，鉄筋の腐食特性の影響要因であることを見出した．</p> <p>なお，コンクリートの微細構造を評価するにあたり，BSE像と画像解析を用いた評価方法が有用であることを示し，さらに，塩化物イオンのコンクリート中への浸透を拡散と仮定した場合の拡散係数を計算する手法の有用性を示している．</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	ROHAYA ABDUL MALEK（ロハヤ アブダル マレク）
<p>第4章では、前章で用いた鉄筋コンクリート供試体内の鉄筋の腐食特性を、前章で述べた非破壊検査による電気化学的特性に加え、鉄筋コンクリート供試体を切断しコンクリートと鉄筋の境界部分のSEM観察による形態分析とXRDによる定量分析を行い、前章の結果と相関付けることにより明らかにしている。</p> <p>以上より、断面補修材料としてのポリマーモルタルは、低水セメント比（0.4）により緻密化された普通コンクリートと同程度の低い塩化物イオン浸透特性を有し得ること、およびその結果、塩化物イオン浸透下の鉄筋腐食への抵抗性も同程度であることを明らかにした。</p> <p>第5章および第6章はすでに断面補修部を有する鉄筋コンクリートに外部電源方式の電気防食工法を適用した場合の鉄筋腐食抑制効果を評価した結果をまとめたものである。</p> <p>まず第5章では、第3章で用いた鉄筋コンクリート供試体に対して外部電源方式の電気防食工法を適用し、断面修復材料が異なる場合（$W/C = 0.4$のコンクリートまたはポリマーモルタル）、あるいは塩化物イオン分布が異なる場合の鉄筋コンクリート供試体への外部電源方式電気防食工法の適用性を、電気防食工法で一般的に用いられる目標値である鉄筋電位の-100 mVシフトを得るために必要な印加電流密度、あるいはそのシフトの達成可否から評価している。</p> <p>断面補修工法と外部電源方式電気防食工法を同時に適用する場合、既存部と断面修復部の電気抵抗の違いにより電流の経路が均一でなく、電気防食工法の有効範囲等がどのように分布するのかが懸念される。しかしながら、本研究で行ったように陽極を鉄筋コンクリート供試体の既存部・断面補修部の両方に跨って全長に亘って設置する場合、防食の観点からは悪影響がないことを明らかにした。</p> <p>第6章では、第3～5章を踏まえて、断面補修の材料が異なる場合、あるいは塩化物イオン分布が異なる場合の鉄筋コンクリートへの外部電源方式電気防食工法の適用の考え方について取りまとめている。外部電源方式電気防食工法では鉄筋電位のマイナスシフトが発生し、一般にその量に外部電源方式電気防食工法の目標値を設置する。断面補修工法と外部電源方式電気防食工法の組合せは、電気防食工法においてその適用基準である-100 mVシフトを達成することで、悪影響はなく有効な補修工法の組合せとなることを明らかにした。この際、塩化物イオンの除去も行われ、外部電源方式電気防食工法は鉄筋表面（コンクリートとの界面）に、防食上有利に作用する局所的な環境の変化と表面形態の変化をもたらしていることを述べている。さらにこれに基づき逆に、外部電源方式電気防食工法の効果は鉄筋電位のマイナスシフト量だけでなく、これらの変化も考慮する必要があると述べている。</p> <p>第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の課題についてまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、断面補修部を有する鉄筋コンクリートの鉄筋腐食性状、および、それに外部電源方式の電気防食工法を適用した場合の鉄筋腐食抑制効果を、コンクリートの微細構造、コンクリートおよび鉄筋の腐食生成物の化学分析、塩分の再拡散性状、鉄筋の電気化学的特性（自然電位、分極抵抗、分極試験）から評価することで、断面修復工法と電気防食工法を同時に適用する場合の適用性について論じた結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 普通コンクリートおよびポリマーモルタルを用いて断面補修を行った R C 供試体内の塩化物イオンの再拡散特性および微細構造の変化を明らかにするとともに、鉄筋の腐食特性の変化を自然電位、分極抵抗といった電気化学的特性を用いて評価し、両者の関係を明らかにした。
2. 普通コンクリートおよびポリマーモルタルを用いた断面補修後のコンクリートの化学成分が鉄筋の電気化学的特性に影響を与えていることを明らかにした。すなわち、塩化物イオン固定化の観点も踏まえて、アルミナ量およびカルシウム／シリカ比がその影響要因であることを見出した。
3. 断面補修材料としてのポリマーモルタルは、低水セメント比（0.4）により緻密化された普通コンクリートと同程度の低い塩化物イオン浸透特性を有し得ること、およびその結果、塩化物イオン浸透下の鉄筋腐食への抵抗性も同程度であることを明らかにした。
4. 断面補修工法と外部電源方式電気防食工法を同時に適用する場合、既存部と断面修復部の電気抵抗の違いにより電流の経路が均一でなく、電気防食工法の有効範囲等が懸念されるが、陽極を既存部・断面補修部の両方に跨って設置する場合、防食の観点からは悪影響がないことを明らかにした。
5. 断面補修工法と外部電源方式電気防食工法は、電気防食工法においてその適用基準である -100mV シフトを達成することで、悪影響はなく有効な補修工法の組合せとなることを明らかにした。

以上のように、本論文は、近年重大な問題となっており国策としても取り上げられている、社会基盤構造物の大部分を占める鉄筋コンクリート構造の延命化を実現するための補修工法について、その基本となる補修メカニズムの解明を、従来の研究例が比較的少ない断面補修工法と外部電源方式電気防食工法の両者を同時に適用した場合について取り組み、その有用性、適用性に着目して取りまとめており、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 12 月 26 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。